



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 38 024 A1** 2004.03.11

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 38 024.4**  
(22) Anmeldetag: **20.08.2002**  
(43) Offenlegungstag: **11.03.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H01L 21/768**

(71) Anmelder:  
**Infineon Technologies AG, 81669 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Sezi, Recai, Dr., 91341 Röttenbach, DE**

(74) Vertreter:  
**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,  
80801 München**

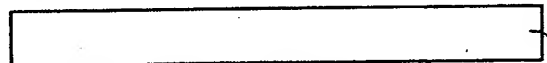
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Mikroelektronischer Prozess und Aufbau**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Integration von Luft als Dielektrikum in Halbleitervorrichtungen, mit den Schritten:

- a. Aufbringen einer Schicht eines zu strukturierenden Dielektrikums auf ein Substrat;
- b. Strukturieren der aufgetragenen Dielektrikum-Schicht;
- c. Aufbringen eines Leitermetalls auf die strukturierte Dielektrikum-Schicht;
- d. Aufbringen einer Schicht eines organischen Dielektrikums;
- e. Inkontaktbringen mit einer fluorhaltigen Verbindung, sowie eine nach diesem Verfahren herstellbare Halbleitervorrichtung mit Luftschichten als Dielektrikum.



1

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Integration von Luft als Dielektrikum in Halbleitervorrichtungen sowie nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Halbleitervorrichtungen, welche ein oder mehrere Luft-Dielektrikum-Schichten aufweisen.

[0002] Das sogenannte Interconnect-Delay wird bei den zukünftigen Chipgenerationen ein gravierendes Problem sein. Durch die Einführung von Kupfer anstelle von Aluminium wurde zwar eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Signallaufzeit (bzw. des Anteiles von „R“ beim sogenannten RC Delay; R = Resistance, C = Capacitance) erzielt, aber es fehlen noch praktikierbare Konzepte zur Verbesserung des Anteiles von „C“. Die kapazitive Kopplung C der Leiterbahnen kann durch die Verringerung der Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums, das sich zwischen den metallischen Leitern befindet, verringert werden. Durch die Verwendung des klassischen Dielektrikums Siliciumdioxid bzw. seiner fluorierten Varianten kann dieses Problem nicht gelöst werden, weil diese immer noch Dielektrizitätskonstanten haben, deren Werte über 3 liegen.

[0003] Seit einigen Jahren gibt es weltweite Aktivitäten zur Herstellung und Integration von sogenannten low k dielectrics, d.h. Dielektrika mit einer niedrigen Dielektrizitätskonstante ( $k < 3$ ). Solche Dielektrika haben Dielektrizitätskonstanten zwischen 2,5 und 2,9, sind bereits ausgereift und eignen sich für den Einsatz ab der 0,13  $\mu\text{m}$  Technologiegeneration. Beispiele hierzu sind Black Diamond (Advanced Materials), Oxazole Dielectric OxD (Infineon), oder auch SILK (Dow Chemical). Die beiden letzteren, die auf organischen Polymeren basieren, haben auch poröse Versionen, die noch in der Entwicklungsphase sind und k-Werte unterhalb von 2,2 erreichen. Außerdem gibt es zahlreiche weitere poröse anorganische Materialien wie z.B. LKD von Fa. JSR oder XLK von Fa. Dow Corning.

## Stand der Technik

[0004] Bekanntlich hat Luft eine Dielektrizitätskonstante von 1 und bietet sich aus diesem Grund als das ideale Dielektrikum an. Aus diesem Grund gab es bisher mehrere Untersuchungen, um Luft als Dielektrikum einzusetzen (sogenannte Airgaps). Beispiel: Mark Lin, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 612 (2000), D.4.7.1 bis D.4.7.6. Die bisherigen Airgap-Konzepte sind jedoch entweder nicht auf alle Strukturgrößen verwendbar (d.h. stark vom Design abhängig) oder so aufwendig, daß sie nicht wirtschaftlich durchführbar sind.

## Aufgabenstellung

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem Luft

als Dielektrikum auf einfache Weise in Halbleitervorrichtungen integriert werden kann.

[0006] Dies wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 erreicht, und die Erfindung betrifft auch eine Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 21.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Integration von Luft als Dielektrikum in Halbleitervorrichtungen umfasst die folgenden Schritte:

- a. Aufbringen einer Schicht eines zu strukturierenden Dielektrikums auf ein Substrat;
- b. Strukturieren der aufgetragenen Dielektrikum-Schicht;
- c. Aufbringen eines Leitermetalls auf die strukturierte Dielektrikum-Schicht;
- d. Aufbringen einer Schicht eines organischen Dielektrikums;
- e. Inkontaktbringen mit einer fluorhaltigen Verbindung.

[0008] Auf diese Weise wird ein einfaches und hinsichtlich des Designs der Halbleitervorrichtung nicht eingeschränktes Verfahren bereitgestellt, mit dem Luftspalten als Dielektrikum erhalten werden können.

[0009] Durch das Inkontaktbringen mit einer fluorhaltigen Verbindung gemäß Schritt e. reagiert überraschenderweise das gemäß Schritt a. aufgetragene Dielektrikum, insbesondere Siliciumdioxid, trotz der obenliegenden (organischen) Dielektrikum-Membran mit der fluorhaltigen Verbindung, und die Reaktionsprodukte diffundieren heraus, so daß ein Luftloch bzw. eine Luftspalte verbleibt. Überraschenderweise wird die Membran des organischen Dielektrikums durch dieses Verfahren nicht beschädigt.

[0010] Die fluorhaltige Verbindung zum Inkontaktbringen mit dem erfindungsgemäß vorbehandelten Halbleitersubstrat ist in einer bevorzugten Ausführungsform gasförmig, wobei als fluorhaltige Verbindung eine fluorhaltige Kohlenwasserstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen, eine perfluorierte Kohlenwasserstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen, eine fluorhaltige Stickstoffverbindung mit 1-2 N-Atomen, eine Fluor-Chlor-Kohlenstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen und/oder HF, F<sub>2</sub>, BF<sub>3</sub>, PF<sub>3</sub>, ClF, ClF<sub>3</sub>, ClF<sub>5</sub>, XeF<sub>2</sub>, SF<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> oder Gemische hiervon, vorteilhaft eingesetzt werden.

[0011] Beispiele für bevorzugte Kohlenwasserstoffverbindungen mit 1-4 C-Atomen sind CH<sub>3</sub>F, CHF<sub>3</sub> und/oder CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>.

[0012] Beispiele für bevorzugte fluorierte Kohlenwasserstoffverbindungen sind Verbindungen der allgemeinen Formel C<sub>n</sub>F<sub>2n+2</sub> mit n = 1-4, bevorzugt n = 1-2, insbesondere CF<sub>4</sub> oder C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>. Die perfluorierten Kohlenwasserstoffverbindungen, insbesondere diejenigen der Formel C<sub>n</sub>F<sub>2n+2</sub> mit n = 1-4, können bevorzugt jeweils bis zu 50% der F-Atome durch H und/oder Cl ersetzt sein. Beispiele für derartige bevorzugte Verbindungen sind C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub> und/oder C<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>F<sub>4</sub>.

[0013] Ein Beispiel für eine bevorzugte fluorhaltige Stickstoffverbindung ist  $\text{NF}_3$ .

[0014] Beispiele für bevorzugte Fluor-Chlor-Kohlenstoffverbindungen sind  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$  oder  $\text{C}_2\text{Cl}_4\text{F}_2$ .

[0015] Insbesondere sind die Verbindungen  $\text{CF}_4$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  und/oder  $\text{NF}_3$  als gasförmige fluorhaltige Verbindungen bevorzugt. Die eingesetzten fluorhaltigen Verbindungen können erfindungsgemäß auch im Gemisch  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2$  oder  $\text{H}_2\text{O}$  eingesetzt werden, solange diese keinen schädlichen Einfluss auf die Halbleiterstruktur aufweisen. Allgemein sind geeignete Gase insbesondere gasförmige C-F-, C-H-F- oder N-F-Gruppen aufweisende Verbindungen.

[0016] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann die fluorhaltige Verbindung auch in Lösung mit dem vorbehandelten Halbleitersubstrat in Kontakt gebracht werden. Hierbei liegt die fluorhaltige Verbindung bevorzugt als wässrige Lösung von HF, KF, NaF, LiF,  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$  oder Gemischen hiervon vor.

[0017] Erfindungsgemäß erfolgt das Inkontaktbringen mit der fluorhaltigen gasförmigen Verbindung bei 20–200°C, bevorzugter 50–100°C. Die Behandlungszeit beträgt dabei vorzugsweise 5–60 Minuten, bevorzugter 10–30 Minuten. Das Inkontaktbringen mit der gasförmigen fluorhaltigen Verbindung erfolgt bevorzugt bei einem Druck von 1 bis 1000 mbar.

[0018] Bei Behandlung mit der fluorhaltigen Verbindung in Lösungsform ist eine Erwärmung auf 30–60°C bevorzugt.

[0019] Das zu strukturierende Dielektrikum gemäß Schritt a. ist bevorzugt Siliciumdioxid, ebenfalls bevorzugt Siliciumnitrid oder Siliciumoxynitrid.

[0020] Grundsätzlich sind erfindungsgemäß Substrate geeignet, die in der Halbleiterstruktur- bzw. Chipfertigung eingesetzt werden. Erfindungsgemäß bevorzugte Substrate sind Silicium, Germanium, mikroelektronisch prozessierte Si- oder Ge-Substrate, die auf ihrer Oberseite ein Dielektrikum aufweisen, Glas, Metall-Glas-Kombinationen; und/oder Si oder Ge mit elektrisch halbleitenden Polymeren wie dotierte oder undotierte Thiophene oder Arylene.

[0021] Das anfängliche Aufbringen des Dielektrikums, bevorzugt Siliciumdioxid, erfolgt mit einer Schichtdicke von bevorzugt 100–2000 nm nach herkömmlichen Verfahren.

[0022] Die Dielektrika können indirekt, d.h. mittels eines Hilfsresists, oder direkt strukturiert werden nach herkömmlichen Verfahren. Bei der direkten Strukturierung ist das Dielektrikum selbst photosensitiv (vgl. Beispiel 6). Die indirekte Strukturierung kann nicht nur mit einem silylierbaren, sondern auch mit einem siliciumhaltigen Resist erfolgen. Auch Mehrlagensystem (organisches Dielektrikum/ Sperrschicht/normaler Photolack) sind geeignet. Als Sperrschicht eignen sich z.B. Siliciumdioxid oder sogenannte Spin-on-Glass-Materialien.

[0023] Als Leitermetall wird erfindungsgemäß bevorzugt Kupfer eingesetzt, ebenfalls bevorzugt sind beispielsweise Silber, Aluminium oder Legierungen von Al, Cu und Si.

[0024] Das Leitermetall kann mittels aus CVD (Chemical Vapour Deposition) oder PVD (Physical Vapour Deposition)-Technik aufgebracht werden. Wahlweise kann die Leitermetallschicht, insbesondere die Kupferschicht, galvanisch verstärkt werden, so daß sie die gewünschte Schichtdicke aufweist. Bevorzugt ist, daß die Leitermetallschicht überall mindestens die Schichtdicke des Dielektrikums aufweist.

[0025] Die gemäß Schritt c. mittels beispielsweise CVD-Technik aufgebrachte Kupferschicht bzw. Leitermetallschicht beträgt typischerweise 30–200 nm, die anschließend bis auf die Schichtdicke des Dielektrikums galvanisch verstärkt werden kann.

[0026] Es ist vorteilhaft, vor der CVD- oder PVD-Kupferabscheidung bzw. Leitermetallabscheidung eine Barrierschicht aufzubringen. Diese kann organischer oder anorganischer Natur sein. Geeignete Barrierschichtmaterialien sind Titan, Titannitrid, Tantal, Tantalnitrid, Wolframnitrid, Wolframcarbid, Siliciumcarbid, amorpher Kohlenstoff sowie Gemische oder Verbindungen dieser Materialien mit Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Wasserstoff, z.B.  $\text{SiCN}$ ,  $\text{SiOCN}$  oder  $\text{SiCH}$  usw. Auch für die Aufbringung der Barrierschicht werden CVD- und PVD-Verfahren bevorzugt eingesetzt. Übliche Schichtdicken sind 5–50 nm.

[0027] Nach Aufbringen des Leitermetalls, insbesondere Kupfer, kann erfindungsgemäß eine Passivierung der Kupferbahnen erfolgen. Die Passivierung kann nach herkömmlichen Verfahren mittels beispielsweise e-less CoWP (d.h. einer mittels Electro-Plating aufgetragenen Schicht aus Cobalt, Wolfram und Phosphor), e-less CoP, Ru etc. oder durch selektiv abgeschiedenes mittels CVD aufgetragenes W, WN oder WC erfolgen.

[0028] Eine Passivierung des Untergrundes bzw. der Seitenwände nach Strukturierung gemäß Schritt b. kann ebenfalls auf herkömmliche Weise erfolgen, beispielsweise durch Abscheidung einer Schicht von Titan, Titannitrid, Tantal, Tantalnitrid, Wolframnitrid, Wolframcarbid, Siliciumcarbid oder ähnlichen bekannten Barrierschichtmaterialien.

[0029] Vor oder nach Passivierung wird erfindungsgemäß bevorzugt die Leitermetallschicht bzw. Kupferschicht planarisiert, bevorzugt mittels CMP (chemisch mechanisches Polieren), wobei eine plane gemeinsame Oberfläche von Siliciumdioxid und Kupfer (bzw. Barriere über Kupfer) gebildet wird.

[0030] Gemäß Schritt d. wird eine Schicht eines organischen Dielektrikums aufgebracht. Als organisches Dielektrikum können bevorzugt ein oder mehrere der nachfolgenden an sich bekannten Verbindungen verwendet werden: Polybenzoxazole (PBO), Polybenzimidazole, Polyimide (PI) und/oder deren Vorstufen, d.h. z.B. Polyhydroxyamide (PBO-Vorstufe) und/oder Polyamidocarbonsäuren (PI-Vorstufen) sowie Polychinoline, Polychinoxaline, Polyarylene wie Polyphenylene oder Polynaphthylene oder Polymere wie in WO 97/10193 offenbart und beansprucht, d.h. Polymere aus ethynylaromatischen Ver-

bindungen, Polyarylenether wie Polyphenylether, Polynaphthylether, einschließlich der in den Patenten US 5,115,082 und US 5,145,936 offenbarten und beanspruchten fluorierten Polyarylenether und Polynaphthylether sowie die nicht fluorierten Homologen hiervon, wobei die genannten organischen Dielektrikum-Schichten jeweils Silicium-, Germanium-, Bor- oder Phosphorhaltige Metallorganyle enthalten können.

[0031] Ebenfalls bevorzugte organische Dielektrika sind photosensitive organische Dielektrika, insbesondere photosensitive Polyimide wie Pimel von Asahi Chemical oder Probimide von Arch Chemical, photosensitive Polybenzoxazole wie CRC von Sumitomo Bakelite oder photosensitives Benzocyclobuten von Dow Chemical.

[0032] Das organische Dielektrikum wird bevorzugt gelöst in einem geeigneten Lösungsmittel aufgebracht. Das Aufbringen erfolgt nach herkömmlichen Verfahren, bspw. Aufsprühen oder Spin-on-Verfahren. Bevorzugte Lösungsmittel sind Methoxypropylacetat, Ethoxypropylacetat, Ethoxypropylpropionat, N-Methylpyrrolidon, gamma-Butyrolacton, Cyclohexanon und/oder Cyclopentanon. An das Aufbringen schließt sich üblicherweise ein Trocknungsschritt und gegebenenfalls Temperungsschritt an, wobei der Temperungsschritt insbesondere durchgeführt wird, um Vorstufen in Endprodukte zu überführen.

[0033] Das Inkontaktbringen des beschichteten Substrats mit der fluorhaltigen Verbindung kann bevorzugt durch kontinuierliche Zufuhr eines fluorhaltigen Gases in eine Kammer, in der sich das beschichtete Substrat befindet, durchgeführt werden. Nach Entfernen des Substrats aus der Kammer verbleiben Kupferstrukturen bzw. Leitermetallstrukturen, die horizontal nur durch Luft voneinander getrennt sind und auf der Oberseite eine durchgehende Dielektrikum-Schicht (organisches Dielektrikum) aufweisen.

[0034] Durch die beschriebene Verfahrensweise wird ein Aufbau erreicht, der zwischen den Leiterstrukturen Luft als Dielektrikum aufweist. Somit erhält man einen k-Wert von nahezu 1, was das theoretische Limit ist.

[0035] Die Behandlung mit der fluorhaltigen Verbindung muß nicht nach jeder Lage bei der Halbleiterstrukturfertigung durchgeführt werden. Es ist vielmehr möglich und erfindungsgemäß bevorzugt, den Aufbau in mehreren Lagen mit Siliciumdioxid als Dielektrikum fertigzustellen und anschließend diese Struktur mit der fluorhaltigen Verbindung in Kontakt zu bringen. Dies stellt einen großen fertigungstechnischen Vorteil dar. Ein solcher Mehrschichtaufbau vor und nach erfindungsgemäßer Behandlung mit der fluorhaltigen Verbindung in gasförmiger oder flüssiger Form ist in Fig. 3 gezeigt. Das Verfahren ist auch nicht auf zwei Lagen beschränkt. Es können beliebig viele Lagen aufeinander gebracht und prozessiert werden. Es ist auch möglich, daß zuerst eine Lage mit Luft als Dielektrikum hergestellt wird und dann die weitere(n) Lage(n) darauf aufgebracht werden.

[0036] Fig. 1b-e (Erläuterung weiter unten) beschreiben einen herkömmlichen erfindungsgemäß einsetzbaren Damascene-Prozeß.

[0037] Daneben kann erfindungsgemäß auch ein Dual Damascene-Prozeß verwendet werden.

[0038] Bei Strukturen mit größeren Abständen ist es erfindungsgemäß bevorzugt, Stützsäulen einzubauen, die keine elektrische Funktion haben, sondern nur als mechanische Träger dienen (vgl. Fig. 2).

[0039] Vorzugsweise kann am Chiprand ein rundum undurchlässiger Schutzring aus Metall- oder Barrierebahnen mindest 2 µm breit angebracht werden, um eine vom Chiprand ausgehende Beeinträchtigung im Chipinneren (Oxidation oder andere chemische Reaktionen) zu verhindern.

#### Ausführungsbeispiel

[0040] Die vorliegende Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben, die jedoch den durch die Ansprüche gegebenen Schutzbereich nicht beschränken sollen. Dabei wird auf die folgenden Figuren Bezug genommen.

[0041] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Verfahrensführung des Verfahrens unter Einsatz des Damascene-Prozeß.

[0042] Fig. 1a zeigt ein Substrat. Dieses kann schon Metall- oder Dielektrikumstrukturen aufweisen. Auf dem Substrat kann sich auch eine Barriere oder ein organisches Dielektrikum befinden.

[0043] Fig. 1b zeigt das ein Substrat mit aufgebracht Siliciumdioxidschicht.

[0044] Fig. 1c zeigt schematisch den Zustand nach Strukturierung des Siliciumdioxids mit Hilfe üblicher Fotolacke.

[0045] Fig. 1d zeigt den Zustand nach Aufbringen von Kupfer, z.B.

[0046] mittels CVD, PVD, Galvanik oder Kombinationen hiervon. Vor Kupfer kann ggf. eine Barrierschicht aufgebracht werden.

[0047] Fig. 1e zeigt den Zustand nach CMP.

[0048] Fig. 1f zeigt das aufgebrachte organische Dielektrikum nach Trocknen und ggf. Tempem.

[0049] Fig. 1g zeigt den Zustand nach erfindungsgemäßer Behandlung mit einer fluorhaltigen Verbindung. An den Stellen, wo sich zuvor Siliciumdioxid befand, sind nun Luftspalten.

[0050] Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Halbleiterstruktur mit einer Stützsäule in Bereichen mit großen Flächen bzw. Luftspalten.

[0051] Fig. 3 zeigt eine Halbleiterstruktur mit Mehrschichtaufbau vor (Fig. 3a) und nach Behandlung mit der fluorhaltigen Verbindung in gasförmiger oder flüssiger Form (Fig. 3b).

[0052] Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der ein Kontaktloch hergestellt wird und eine Halbleiterstruktur weiter aufgebaut wird.

[0053] Fig. 4a Photostrukturierung des Resists.

[0054] Fig. 4b Ätzen des Dielektrikums mit Resist

als Maske.

[0055] **Fig. 4c** Nach Strippen/Entfernen des Resists.

[0056] **Fig. 4d** Electroplating, d.h. Befüllen des Kontaktlochs.

[0057] **Fig. 4e** Wiederholung der Schritte aus **Fig. 1b** bis **Fig. 1f**.

[0058] **Fig. 4f** Zustand nach erfindungsgemäßer Behandlung in einer beheizbaren Kammer.

[0059] **Fig. 5** zeigt eine erfindungsgemäß behandelte Struktur nach Behandlung wie in **Fig. 1**, wobei als organisches Dielektrikum ein photosensitives organisches Dielektrikum verwendet wurde, in das Kontaktlöcher geätzt wurden und anschließend eine Behandlung mit einer fluorhaltigen Verbindung gemäß der vorliegenden Erfindung erfolgte.

### Beispiele

#### Beispiel 1 Herstellung von Kupferstrukturen

[0060] Auf eine Siliciumscheibe **1** (Wafer) wird mittels CVD Technik eine Siliciumdioxidschicht **2** aufgebracht und diese Schicht mittels bekannter Resist-technologie und Plasmaätzung strukturiert (**Fig. 1a-c**). Die strukturierte Siliciumdioxidschicht hat eine Höhe von 800 nm. Auf diese Schicht wird mittels PVD (Gerät Applied Materials Endura) eine 40 nm dicke Schicht von Tantal abgeschieden und danach eine 70 nm dicke Schicht von Kupfer **3**. Anschließend wird die Kupferschicht elektrolytisch (Gerät Semitool Equinox) auf 1000 nm verstärkt (**Fig. 1d**). Dann werden zuerst Kupfer und danach Tantal chemisch mechanisch planarisiert (Gerät IPEC, Polishing Pad RODEL, Slurries CABOT), siehe **Fig. 1e**. Ruf die planarisierte Oberfläche wird nun eine Polybenzoxazol-Vorstufe (Poly-ohydroxyamid) als organisches Dielektrikum **4**, hergestellt entsprechend EP 0264678, Beispiel 1, aus einer Lösung in N-Methylpyrrolidon mittels Schleudertechnik aufgetragen und auf einer Heizplatte 2 Minuten bei 120°C getrocknet. Danach wird das beschichtete Substrat in einem Temperofen (unter Stickstoff) 60 Minuten bei 380°C getempert. Durch das Tempern wird die Vorstufe in das entsprechende Polybenzoxazol überführt. Die Schichtdicke des als Dielektrikum dienenden Polybenzoxazol-Films **4** beträgt 1400 nm. Als Gas beim Tempern kann auch ein Gemisch aus N<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> verwendet werden (**Fig. 1f**). Das Substrat wird nun in eine beheizbare Kammer gebracht, die einen Gaseinlaß und -auslaß hat. Danach wird bei einer Temperatur von 80°C langsam Flußsäure HF durch die Kammer geleitet. Als Trägergas dient dabei Stickstoff, der durch konzentrierte Flußsäure (48 Gew.-%) gepumpt wird und diese in der Gasphase mitträgt. Nach 20 Minuten wird die Kammer mit reinem Stickstoff gespült und das Substrat aus der Kammer geholt. An Stelle von Siliciumoxid befindet sich jetzt nur, noch Luft **5** zwischen den Leiterbahnen (**Fig. 1g**). An Stelle von Tantal alleine können auch Titanitrid (20

nm) und Tantal gemeinsam als Barriere aufgebracht werden.

#### Beispiel 2 Mehrschichtaufbau

[0061] Hier wird als Substrat eine entsprechend Beispiel 1 hergestellte Struktur genommen, und zwar nach dem Tempern des organischen Dielektrikums (**Fig. 1f**). Danach wird, genauso wie im Beispiel 1, nochmal mittels CVD Siliciumdioxid und Kupfer abgeschieden, galvanisch verstärkt und planarisiert. Anschließend wird erneut die Polybenzoxazol-Vorstufe aufgetragen und getempert (**Fig. 3a**). Die Struktur wird nun in eine beheizbare Kammer gebracht und genauso behandelt wie in Beispiel 1. Dabei erhält man die Strukturen entsprechend **Fig. 3b**.

[0062] Das Verfahren ist nicht auf zwei Lagen beschränkt. Es können beliebig viele Lagen aufeinander gebracht und prozessiert werden. Es ist auch möglich, daß zuerst eine Lage mit Luft als Dielektrikum hergestellt wird und dann die weitere(n) Lage(n) darauf aufgebracht werden.

#### Beispiel 3 Herstellung eines Kontaktloches und weiterer Aufbau

[0063] Auf die entsprechend Beispiel 1 hergestellte Struktur mit obenliegendem organischen Dielektrikum wird ein silylierbarer Photoresist **6** gemäß EP 494383 / Beispiel 1 abgeschieden, durch eine Kontaktlochmaske belichtet, entwickelt und silyliert (**Fig. 4a**). Anschließend wird das Dielektrikum in den Kontaktlöchern 100 Sekunden mittels Sauerstoffplasma geätzt (der Resist dient als Ätzmaske), so daß die Oberseite der Kupferbahn **3** freigelegt wird (**Fig. 4b**). Zur Entfernung des oxidierten Kupfers an der Oberfläche wird weitere 20 Sekunden mit Argonplasma geätzt. Die restliche Resistschicht über dem Dielektrikum wird durch eine 2-minütige Behandlung mit N-Methylpyrrolidon entfernt (gestrippt) und das Substrat 60 Sekunden bei 120°C getrocknet (**Fig. 4c**). Das Kontaktloch mit unten freigelegtem Kupfer wird nun galvanisch mit Kupfer **3** gefüllt (**Fig. 4d**). Die auf diese Weise erhaltene Struktur wird dann, entsprechend Beispiel 1, um eine weitere Lage verstärkt (entsprechend **Fig. 1b-f**), so daß man die Struktur entsprechend **Fig. 4e** erhält. Nach der Gasbehandlung in der Kammer entsprechend Beispiel 1 erhält man 2 Lagen von Leiterbahnen mit Luft als Dielektrikum und mit einer Lage dazwischenliegender Kontaktlöcher (**Fig. 4f**).

#### Beispiel 4 Herstellung von Kupferstrukturen

[0064] Hier wird genauso verfahren wie im Beispiel 1, jedoch mit folgenden Unterschieden: An Stelle einer Polybenzoxazol-Vorstufe wird ein kommerziell erhältliches Dielektrikum SILK der Fa. Dow Chemical (siehe WO97/10193) verwendet. Das Ergebnis ist das gleiche wie im Beispiel 1.

### Beispiel 5 Herstellung eines Kontaktloches und weiterer Aufbau

[0065] Die Durchführung erfolgt genauso wie im Beispiel 3, mit dem Unterschied, daß hier das Dielektrikum vom Beispiel 4 verwendet wurde. Das Ergebnis ist das gleiche wie im Beispiel 3.

### Beispiel 6 Verwendung eines photosensitiven organischen Dielektrikums beim Aufbau

[0066] In diesem Beispiel werden die Schritte entsprechend den Fig. 1a-e genauso durchgeführt wie im Beispiel 1. Anschließend wird auf die planarisierte Oberfläche von Cu/SiO<sub>2</sub> die Lösung einer photostrukturierbaren Polybenzoxazol-Vorstufe als photosensitives organisches Dielektrikum 7 entsprechend EP 0264678/Beispiel 2, aufgeschleudert, auf einer Heizplatte 100 Sekunden bei 110°C getrocknet und anschließend durch eine Kontaktlochmaske polychromatisch belichtet. Nach der 90 Sekunden Entwicklung mit dem AZ 303 Entwickler (1:6 mit Wasser verdünnt) und Tempern im Temperofen (unter Stickstoff, 60 Minuten bei 380°C) entsteht ein durchgehender Film des organischen Dielektrikums mit 1400 nm Dicke und Kontaktlöchern über den Bahnen aus Kupfer (Fig. 4c). Das Substrat wird nun bei 60°C in eine methanolische Lösung von Ammoniumfluorid gebracht und für 25 Minuten unter schwachem Rühren mit der Lösung behandelt. Danach wird mit Methanol gespült und für 15 Minuten bei 150°C unter Stickstoff getrocknet. Nach dieser Behandlung befindet sich an Stelle von Siliciumoxid nur noch Luft zwischen den Leiterbahnen (siehe Fig. 5).

### Beispiel 7

[0067] Die Durchführung erfolgt genauso wie im Beispiel 6, mit folgenden Unterschieden: Hier wurde als photosensitives Dielektrikum 7 das photosensitive Polyimid Pimel 7636 der Fa. Asahi verwendet. Hierzu wurde eine Negativmaske eingesetzt, weil das Polyimid – im Gegensatz zum o.g. Oxazol – negativ strukturierbar ist. Die Entwicklung erfolgte in einer Mischung (1:1 Volumen) aus gamma-Butyrolacton und Xylol. Das Ergebnis ist das gleiche wie im Beispiel 3.

### Bezugszeichenliste

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Substrat                                 |
| 2 | SiO <sub>2</sub>                         |
| 3 | Kupfer                                   |
| 4 | Organisches Dielektrikum                 |
| 5 | Luft                                     |
| 6 | Photoresist                              |
| 7 | Photosensitives organisches Dielektrikum |

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Integration von Luft als Dielektrikum in Halbleitervorrichtungen, mit den Schritten:
  - a. Aufbringen einer Schicht eines zu strukturierenden Dielektrikums auf ein Substrat;
  - b. Strukturieren der aufgetragenen Dielektrikum-Schicht;
  - c. Aufbringen eines Leitermetalls auf die strukturierte Dielektrikum-Schicht;
  - d. Aufbringen einer Schicht eines organischen Dielektrikums;
  - e. Inkontaktbringen mit einer fluorhaltigen Verbindung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung gasförmig ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung eine fluorhaltige Kohlenwasserstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen, eine perfluorierte Kohlenwasserstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen, eine fluorhaltige Stickstoffverbindung mit 1-2 N-Atomen, eine Fluor-Chlor-Kohlenstoffverbindung mit 1-4 C-Atomen, bevorzugt 1-2 C-Atomen und/oder HF, F<sub>2</sub>, BF<sub>3</sub>, PF<sub>3</sub>, ClF, ClF<sub>3</sub>, ClF<sub>5</sub>, XeF<sub>2</sub>, SF<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> oder ein Gemisch hiervon ist.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung eine oder mehrere der nachfolgenden Verbindungen ist: CF<sub>4</sub>, CHF<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>F, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>F<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>ClF<sub>5</sub>, C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>F<sub>2</sub> und/oder NF<sub>3</sub>.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung im Gemisch mit NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub> und/oder H<sub>2</sub>O vorliegt.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung in Form einer Lösung eingesetzt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltige Verbindung als wässrige Lösung von HF, KF, NaF, LiF, NH<sub>4</sub>HF<sub>2</sub> oder NH<sub>4</sub>F oder Gemischen hiervon vorliegt.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Inkontaktbringen mit der fluorhaltigen gasförmigen Verbindung bei 20–200°C, bevorzugter bei 50–100°C, erfolgt.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

daß das Inkontaktbringen mit der fluorhaltigen Verbindung für 5–60 min, bevorzugter 10–30 min, erfolgt.

bau mit der fluorhaltigen Verbindung in Kontakt gebracht wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zu strukturierende Dielektrikum Siliciumdioxid, Siliciumnitrid oder Siliciumoxynitrid, bevorzugt Siliciumdioxid, ist.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufbringen des Leitermetalls eine Barrierschicht aufgebracht wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus: Silicium, Germanium, mikroelektronisch prozessierte Si- oder Ge-Substrate; Glas, Metall-Glas-Kombinationen; und/oder Si oder Ge mit elektrisch halbleitenden Polymeren wie dotierte oder undotierte Thiophene oder Arylene.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Barrierschicht aus einem oder mehreren der folgenden Materialien ist: Titan, Titannitrid, Tantal, Tantalnitrid, Wolframnitrid, Wolframcarbid, Siliciumcarbid, amorpher Kohlenstoff sowie Gemische oder Verbindungen dieser Materialien mit Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Wasserstoff, z.B. SiCN, SiOCN oder SiCH.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Leitermetall Kupfer, Silber, Aluminium oder Legierungen von Al, Cu und Si eingesetzt wird.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor Aufbringen des organischen Dielektrikums die Oberfläche des Leitermetalls, bevorzugt Kupfer, passiviert wird.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Leitermetall Kupfer eingesetzt wird.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mechanische Stützelemente integriert werden, um die mechanische Festigkeit der Luft-Dielektrikum-Schicht zu erhöhen.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als organisches Dielektrikum ein oder mehrere der nachfolgenden an sich bekannten Verbindungen verwendet werden: Polybenzoxazole (PBO), Polybenzimidazole, Polyimide (PI) und/oder deren Vorstufen, wie Polyhydroxyamide (PBO-Vorstufe) und/oder Polyamidocarbonsäuren (PI-Vorstufen) sowie Polychinoline, Polychinoxaline, Polyarylene wie Polyphenylene oder Polynaphthylene oder Vinylphosphinoxide, fluorierte oder unfluorierte Polyarylether wie Polyphenylether, Polynaphthylether, wobei diese Verbindungen jeweils Silicium-, Germanium-, Bor- oder Phosphorhaltige Metallorganyle enthalten können.

22. Halbleitervorrichtung mit einer oder mehreren Luft-Dielektrikum-Schichten, erhältlich durch ein Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche.

23. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß sie innerhalb der Luft-Dielektrikum-Schichten mechanische Stützelemente aufweist.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1–14, dadurch gekennzeichnet, daß als organisches Dielektrikum ein photosensitives Dielektrikum wie photosensitives Polyimid, photosensitives Polybenzoxazol oder photosensitives Benzocyclobuten eingesetzt wird.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach Schritt c. eine Planarisierung erfolgt, bevorzugt mittels CMP.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte a. bis c. mehrfach durchgeführt werden, bevor das Inkontaktbringen mit der fluorhaltigen Verbindung erfolgt, so daß ein mehrlagiger Aufbau

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

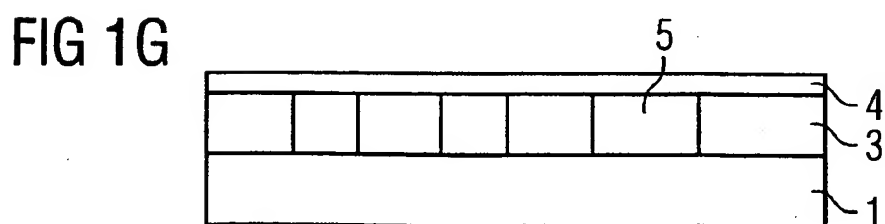
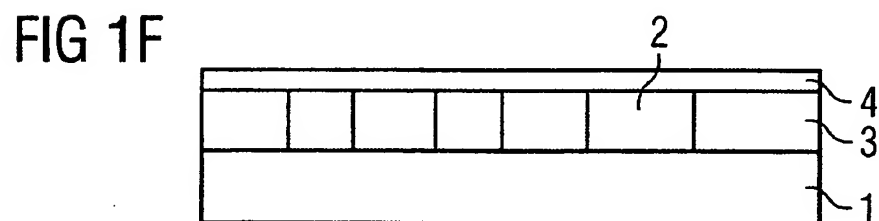
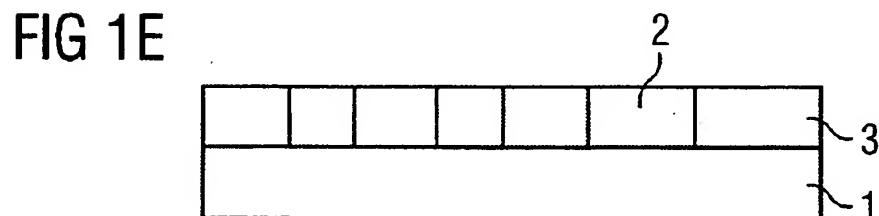
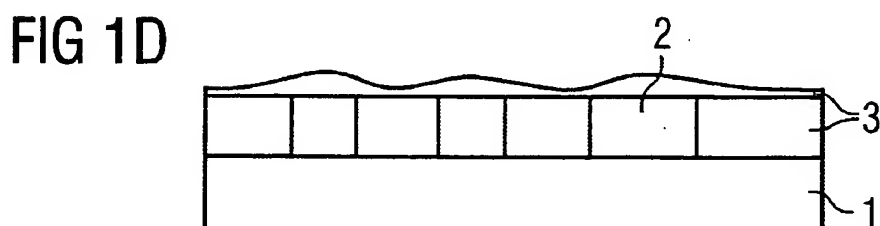
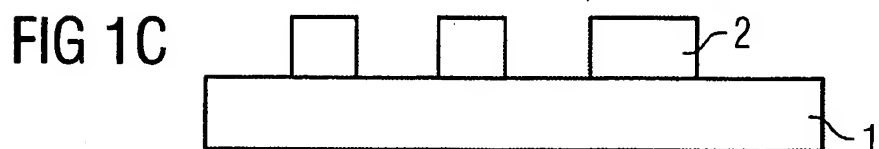
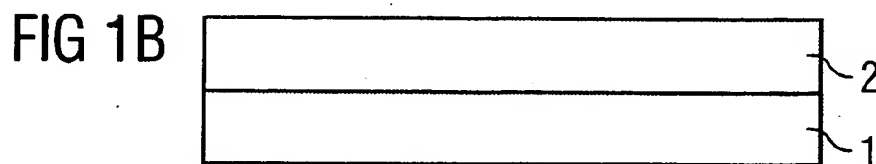
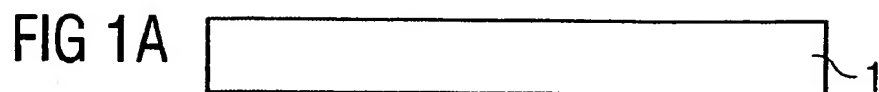




FIG 2

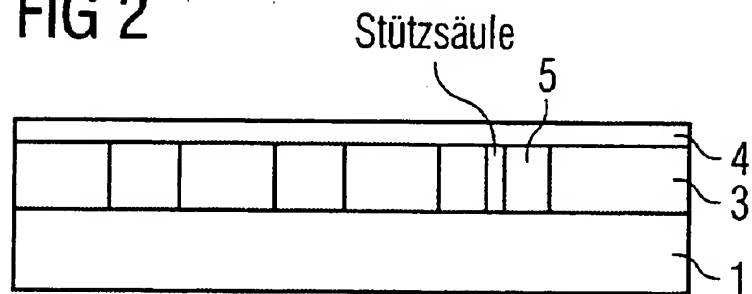


FIG 3A

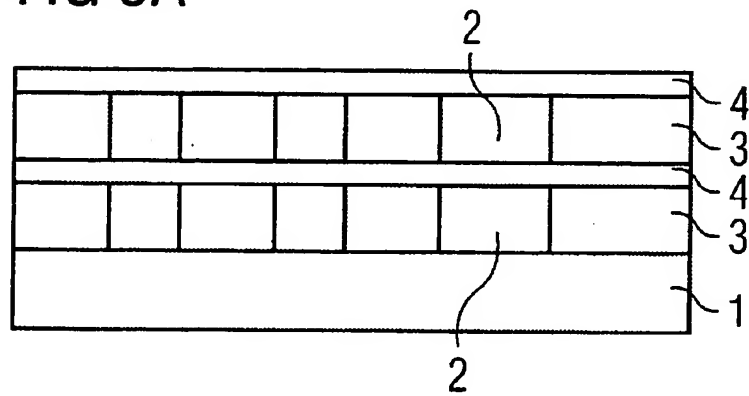


FIG 3B

